



**Universidad**  
Zaragoza



Escuela  
Universitaria  
Ingeniería  
Técnica  
Industrial  
**ZARAGOZA**

# PROYECTO FIN DE CARRERA

---

Análisis por elementos finitos del chasis de una motocicleta

Curso académico 2010-2011

Titulación Ingeniería técnica industrial mecánica

Realizado por: Miguel Yáñez Comet

Dirigido por: Jorge Grasa Orús



## CONTENIDO

1. Título del proyecto. ....	2
2. Objetivos y alcance.....	2
3. Antecedentes. ....	3
4. Lugar, fecha y firma. ....	3
5. Geometría de la Motocicleta. ....	4
5.1. Elementos a estudiar.....	6
5.1.1 Chasis.....	7
5.1.2 Sub-chasis. ....	7
5.1.3 Cuna. ....	8
5.1.4 Eje basculante. ....	8
5.2. Modelado 3d. ....	9
6. Análisis por elementos finitos.....	10
6.1. Preparación del conjunto a analizar.....	10
6.2. Mallado. ....	12
6.3. Hipótesis de trabajo.....	13
6.3.1 Hipótesis 1, frenada máxima. ....	14
6.3.2 Hipótesis 2, salida de curva. ....	16
6.3.3 Hipótesis 3, paso por curva con impacto de piano. ....	19
6.4. Resultados.....	21
6.4.1 Hipótesis 1, frenada máxima. ....	22
6.4.2 Hipótesis 2, salida de curva. ....	25
6.4.3 Hipótesis 3, paso por curva con impacto de piano. ....	28
7. Conclusiones.....	31
8. Bibliografía.....	33



## 1. TÍTULO DEL PROYECTO.

El título del proyecto es “Análisis por elementos finitos del chasis de una motocicleta”.

## 2. OBJETIVOS Y ALCANCE.

El principal objetivo del proyecto consiste en el análisis por elementos finitos del chasis fabricado para la competición Motostudent por parte del equipo MotostudentZGZ-Unizar. La competición se desarrollo a lo largo de 2 cursos académicos, comenzando en el año 2008 y finalizando en Octubre del 2010 con unas jornadas en el circuito de Motorland Aragón donde se puso a prueba los prototipos.

Para ello se va a utilizar el programa Abaqus cuyo aprendizaje y manejo se ha profundizado a lo largo de presente Proyecto de Fin de Carrera.

Se introducirá en el programa de análisis de elementos finitos una recreación lo más fiel posible de las principales partes que aportan rigidez al conjunto de la motocicleta. Estas partes constituyen la estructura principal o chasis donde se soportan el resto de elementos. El sub-chasis o colín, elemento donde se situará el piloto, la cuna, elemento de sujeción del bloque motor, ya que contábamos con un motor que tenía la necesidad de ser portado y el eje basculante, elemento de unión del chasis con el basculante de la motocicleta.

Sobre todos estos elementos, unidos de la manera más próxima a la realidad, se aplicarán tres hipótesis diferentes. Hipótesis desarrolladas al final de la competición y que someten a nuestra motocicleta virtual a situaciones reales que podemos encontrar en el circuito. Las cargas aplicadas en dichas hipótesis fueron desarrolladas por el equipo MotostudentZGZ-Unizar.

Esas tres hipótesis que se van a estudiar las situaciones de máxima frenada, el caso de salida de curva y el de impacto con el piano en paso por curva.

Dada la naturaleza del proyecto y del entorno en el que ha desarrollado podemos contar con los resultados obtenidos en el circuito y que validan el prototipo desarrollado. Con este documento se podrá conocer lo cerca que se ha estado de los límites de los materiales utilizados para la construcción de dicho prototipo.

### 3. ANTECEDENTES.

El equipo compuesto por 15 integrantes tanto de la titulación de Ingeniería Industrial como de Ingeniería Técnica Industrial de la Universidad de Zaragoza, se medía con el resto de equipos de diferentes universidades españolas y una italiana, 24 en total.

Se trataba de sacar adelante el diseño y fabricación un prototipo de motocicleta de 125 cc. Posteriormente el prototipo sería sometido a una serie de verificaciones técnicas y por último pasaría a las tandas cronometradas.

A la hora del diseño añadir que tanto el chasis como el basculante de la motocicleta debían ser de diseño propio.

Cuando se diseña el chasis de una motocicleta observamos en el mercado que existe muchos tipos de chasis (multitubular, doble cuna, monocasco, etc...). Dadas las características de la competición y la geometría final (batalla, ángulo de ataque, etc...) que el equipo se había marcado como objetivo se desecharon varios de los posibles chasis.

Se llegó a un punto con dos posibles soluciones. A la hora de tomar la decisión de cual iba a ser el diseño definitivo se realizaron análisis de elementos finitos de forma similar a las de este mismo documento.

Con unos análisis mejorables tanto en las hipótesis/condiciones de contorno como en los coeficientes de seguridad, muy mayorados, se seleccionó como chasis, el mismo que en presente proyecto. Un chasis mixto, multitubular en la parte delantera y doble viga en la trasera.

Otra de las diferencias que se encuentran entre los actuales análisis y los realizados durante la competición es la aplicación de nuevos elementos resistentes como la cuna (elemento en el que se ancla el motor).

Por ello se plantea como objetivo un análisis más riguroso, con nuevas hipótesis y con unos coeficientes de seguridad más ajustados.

### 4. LUGAR, FECHA Y FIRMA.

Miguel Yáñez Comet.

En Zaragoza a 21 de Febrero del año 2011.

## 5. GEOMETRÍA DE LA MOTOCICLETA.

Dado el fin al que va destinada la moto hay que tener en cuenta ciertos aspectos a la hora del diseño definitivo. Se trata de una motocicleta de velocidad, no homologada para uso en carretera. Las cotas elegidas son resultado de un estudio de mercado en el que se han observado otras motocicletas que sirven para el mismo fin.



FIGURA 1

Diseñada para categorías inferiores, los pilotos son niños entorno a los 13 años por lo que se ha estimado un peso de 55 kg para el piloto, incluyendo peso de casco y mono. Así mismo, se ha tenido en cuenta que dichos pilotos son de baja estatura y por tanto, las distancias a los apoyos (manillar y estriberas) han de ser reducidas.

Se trata de un prototipo económicamente viable y su fabricación y montaje se buscaba que fuera lo más sencillo posible. Para encontrar una solución en base a dichos aspectos se tomó la decisión de seleccionar un material común, al que se pudiera tener acceso de manera sencilla, tratándose de la combinación de dos aceros estructurales con límites elásticos de 235 y 355 [MPa].

El resultado es de una motocicleta estrecha, de batalla corta, ágil y ligera. Permitiendo un rápido paso por curva y una buena aceleración a la salida de las mismas.

A continuación se detallan algunas de las cotas generales del prototipo definitivo (figuras 2 y 3).

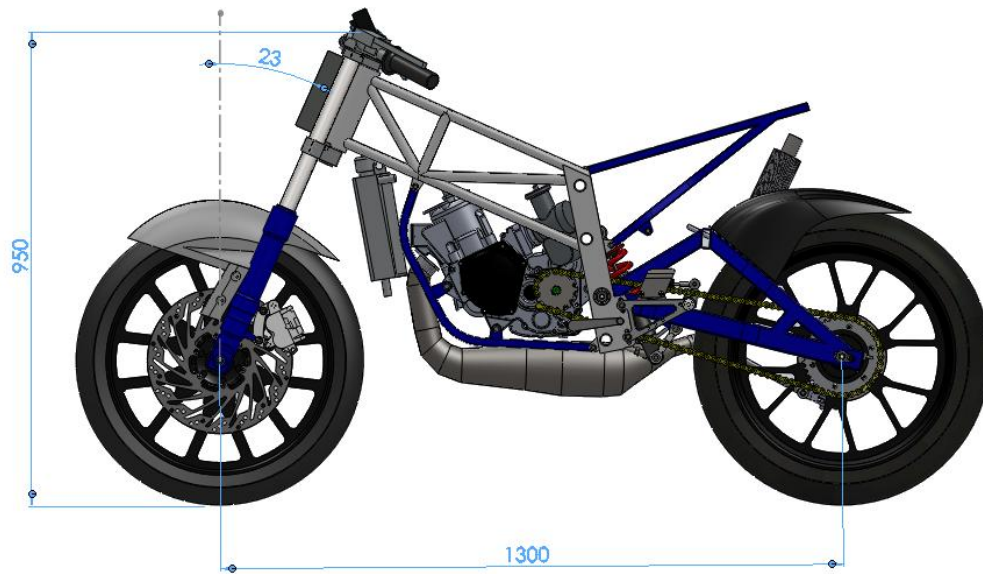


FIGURA 2



FIGURA 3

## 5.1. ELEMENTOS A ESTUDIAR.

Dada la alta complejidad que hubiera supuesto la introducción de toda la motocicleta en el análisis, se ha preferido contar para el estudio tan solo con los principales elementos resistivos de todo el conjunto. A la hora de introducir el modelo nos evitamos complicaciones y el tiempo de cálculo se ve reducido.

El principal elemento de estudio se trata del chasis pero, a su vez, se van a añadir el mayor número de elementos posibles para obtener un resultado lo más próximo a la realidad, ya que cada uno de esos elementos aumentan la rigidez del conjunto.

Así pues, contaremos también con el sub-chasis, la cuna y el eje basculante.

Cada uno de estos componentes pasarán, a continuación, a ser descritos (*figura 5*).



FIGURA 4

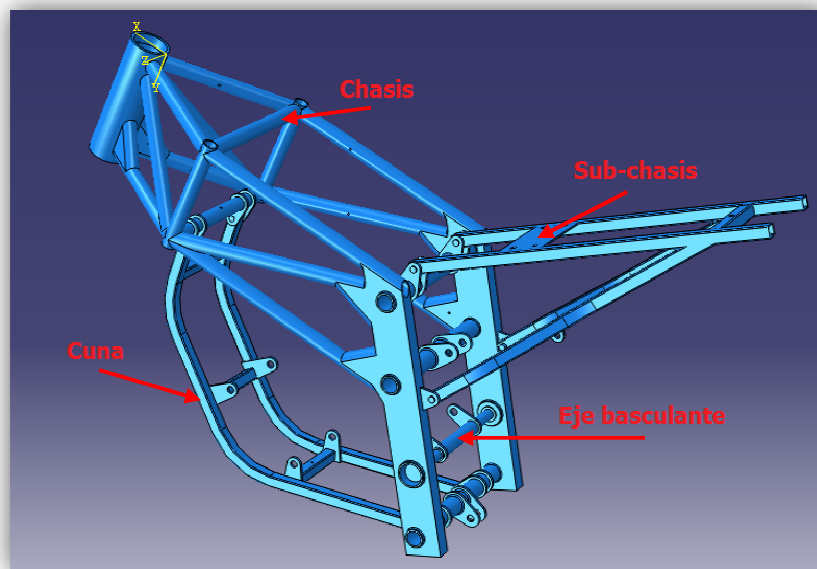


FIGURA 5

### 5.1.1 CHASIS.

Se trata del cuerpo principal de la motocicleta, su cometido será el de soportar todas las cargas a las que se someterá la motocicleta en el circuito.

Como se puede observar, en la parte delantera se sitúa la pipa de dirección sobre ella se aplicarán las cargas procedentes del tren delantero (*figura 6*).

En los travesaños posteriores se encuentran las orejetas de sujeción del sistema de suspensión, del sub-chasis y las orejas de unión con la cuna. A su vez se pueden observar los casquillos sobre los que se soportará el eje basculante.

También se pueden observar los refuerzos, añadidos para aumentar en mayor medida la rigidez del chasis. De esta forma la posible concentración de tensiones en dichos puntos puede distribuirse de mejor modo.

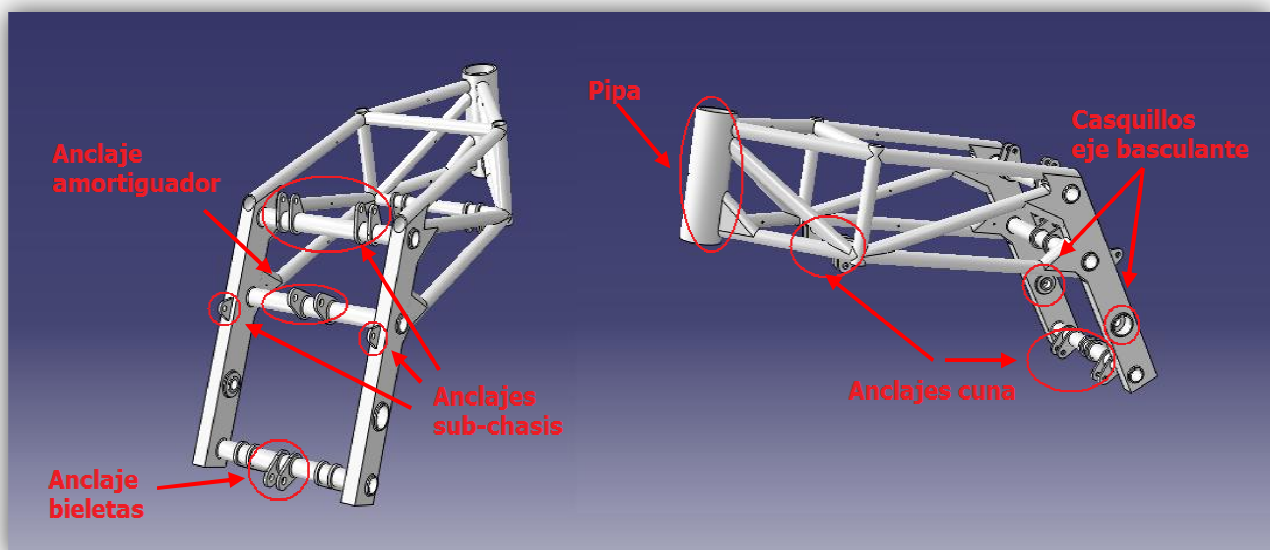


FIGURA 6

### 5.1.2 SUB-CHASIS.

Se trata de la estructura destinada a soportar las acciones que realiza el piloto sobre la motocicleta ya que sobre ésta se encuentra el asiento. También se pueden encontrar elementos externos (pequeños depósitos, cableado, parte del carenado, anclaje del escape, etc...) que son colocados sobre el sub-chasis, la carga que éstos aportan es despreciable.

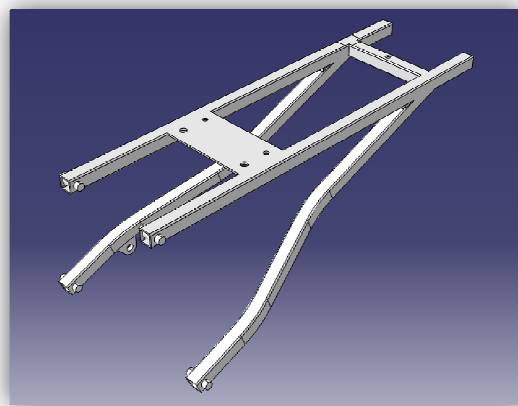


FIGURA 7



### 5.1.3 CUNA.

Como ya se ha comentado, el motor que fue proporcionado por la organización de la competición tenía la necesidad de ser portado. De este modo se tenía la necesidad de crear una pequeña estructura sobre la cual anclar el bloque motor.

Dicho motor posee tres puntos de anclaje, dos de ellos se encuentran sobre la cuna. El tercero de los anclajes se localiza sobre el eje basculante, que a continuación se presenta.

El elemento cuna está anclado a cuatro pares de orejetas, situadas en el chasis, mediante uniones atornilladas.

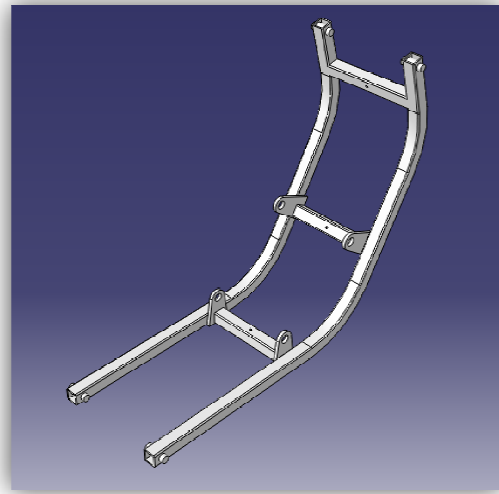


FIGURA 8

### 5.1.4 EJE BASCULANTE.

Se trata de un eje hueco roscado por ambos lados.

Por un lado el eje basculante va unido al chasis mediante unión atornillada, la cual apoyará en los casquillos preparados para dicha función.

Por otro lado en este eje apoyará el conjunto del tren trasero por medio de dos parejas de rodamientos.

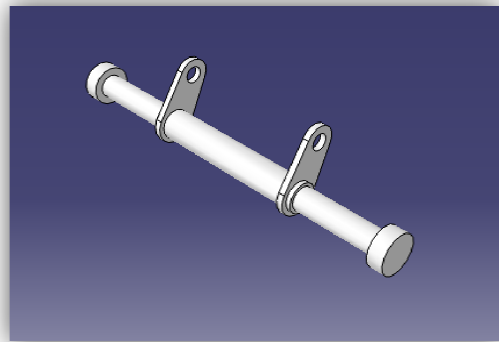


FIGURA 9

Las orejetas que se pueden observar son el elemento de unión con el tercer punto de anclaje del bloque motor.

## 5.2. MODELADO 3D.

A lo largo del desarrollo de la competición Motostudent se creó un modelo virtual de la motocicleta, permitiendo modificar piezas, cotas y dimensiones generales de forma muy rápida y sencilla. Del mismo modo se pudieron crear los planos necesarios de determinadas piezas para su fabricación.

Los software que se utilizaron para dichas tareas fueron tanto el Autodesk Inventor, como el PROEngineer.

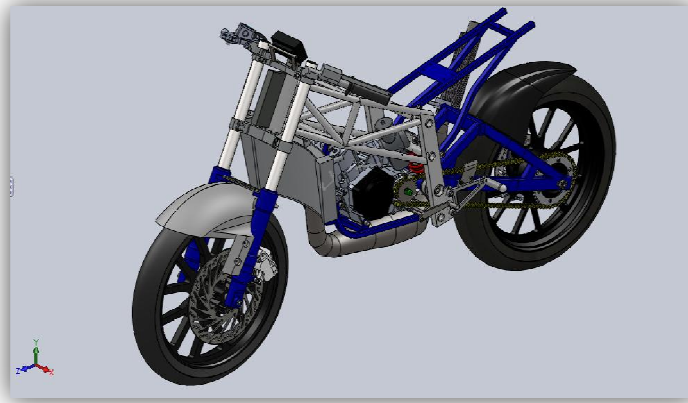


FIGURA 10

Una vez elegidas las piezas que se consideran de interés para el desarrollo del proyecto se exportan individualmente, formando el conjunto de análisis en el propio software de análisis por elementos finitos.

Para que los estudios fueran correctos se han tenido que ir realizando modificaciones sobre los modelos a analizar, ya que presentaban ciertos problemas de compatibilidades.

Por simplicidad a la hora del diseño como de los cálculos, para los elementos de union entre las diferentes piezas se han utilizado pasadores macizos simulando las uniones atornilladas (*figura 11*).

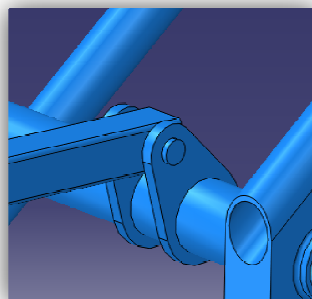


FIGURA 11



## 6. ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS.

Para la realización de los análisis se ha elegido Abaqus/CAE. Este software, a través de sus diferentes módulos de trabajo ("Parts", "Property", "Assembly", etc...) permite configurar numerosas opciones para realizar los estudios a los que se va a someter el conjunto de ensayo.

Para hacerse una pequeña idea de las etapas que se van a realizar, se comenzará por el pre-procesamiento donde se determina la estructura a ser analizada así como sus características físicas, también entra dentro del ámbito del pre-procesamiento la selección de la malla y de los elementos que la componen.

Una vez solventados los problemas de geometría imprecisa que resulta de la exportación/importación del conjunto de ensayo se aplicará sobre él las hipótesis de trabajo.

A continuación, se realiza el análisis propiamente dicho, se lleva a cabo los procesos de cálculo (desplazamientos, tensiones, etc...) y finalmente se visualizan los resultados para sacar unas conclusiones.

### 6.1. PREPARACIÓN DEL CONJUNTO A ANALIZAR.

Una vez introducidas las diferentes piezas que conforman el conjunto se comprueba la compatibilidad de cada una de las piezas. Para ello se trabaja en el módulo "Parts", donde se puede comprobar que la importación de cada una de las piezas ha sido correcta. De no ser así desde este módulo podemos realizar ciertas operaciones de reconstrucción sobre las mismas. Como se ha comentado anteriormente se ha tenido que probar diversas versiones de algunas de las piezas ya que aparecían errores.

Usando el módulo de trabajo "Property" se asignará el material, como se indicó se trabaja con acero estructural por lo tanto se introducirá un Módulo de Young de valor 210[GPa] y un Coeficiente de Poisson de 0,33 (figura 12).

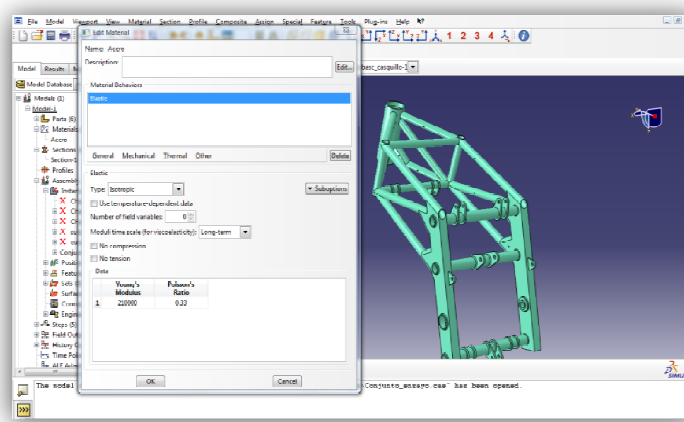


FIGURA 12

A continuación se ensambla el conjunto de ensayo, para ello nos valemos del módulo "Assembly" que incluye el programa. Mediante las diferentes restricciones se permite acoplar cada una de las piezas en su correcta posición. Una vez obtenido un conjunto de ensayo se activa la opción que permite trabajar con el conjunto como una única entidad, de esta forma todas las uniones entre las diferentes piezas, que se han introducido, permanecerán unidas rígidamente entre sí, comportándose de forma similar a la realidad (*figura 13*).

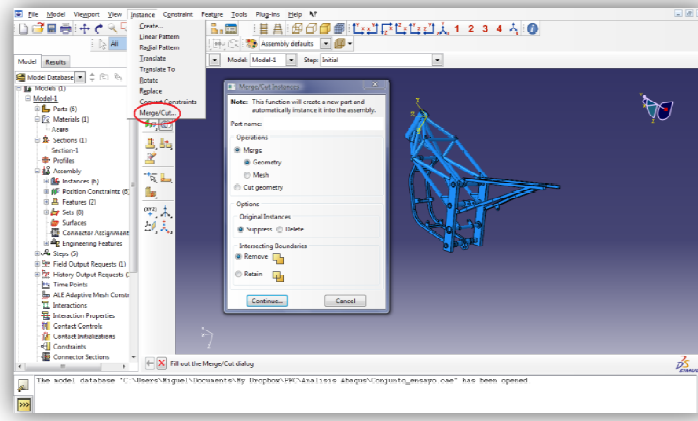


FIGURA 13

Una vez llevadas a cabo estas pequeñas operaciones de adaptación y caracterización del modelo de trabajo se puede pasar a trabajar con los siguientes módulos.

## 6.2. MALLADO.

“Mesh” es el nombre del módulo al que se debe activar para la elaboración de la malla de elemento. En dicho módulo se determina el tipo de elemento con el que se quiere trabajar así como el refinamiento de la misma.

La malla está compuesta por una gran cantidad de puntos o nodos. La cantidad de los nodos que se encuentren sobre el conjunto a analizar determinan el nivel de detalle de la malla. Así pues una malla muy refinada puede dar unos resultados muy parejos con la realidad, sin embargo el proceso de cálculo que conlleva dicha malla es muy complejo y por tanto el tiempo de resolución se amplía mucho.

Por tanto hay que buscar un compromiso entre la complejidad de la malla y el tiempo de cálculo.

Por otro lado se debe seleccionar el tipo de elemento que queremos incluir en dicha malla. Su función es la de unir los nodos repartidos por todo el conjunto dependiendo del tipo de elemento elegido la simulación de las hipótesis de trabajo se comportarán de una manera realista o no.

Para el estudio de este proyecto se ha seleccionado el tipo de elemento tetraédrico C3D4. Concretamente la malla está compuesta por 194129 nodos y 621750 elementos.

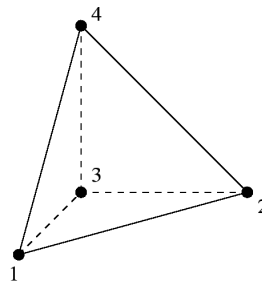


FIGURA 14

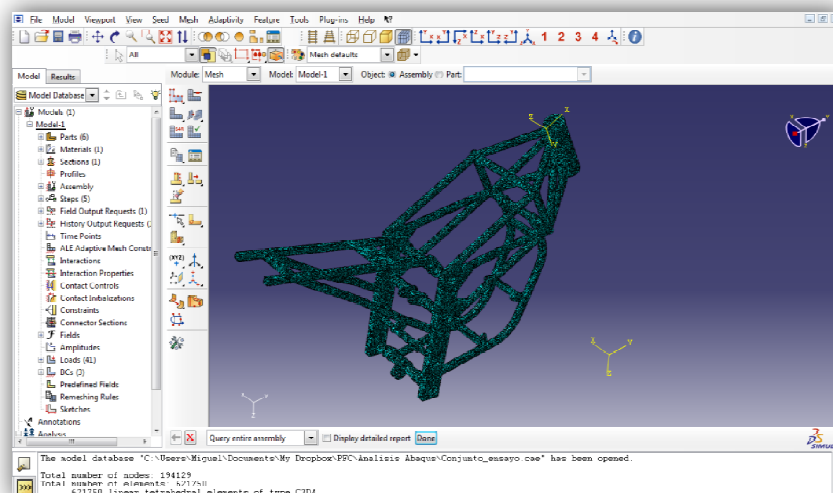


FIGURA 15

### 6.3. HIPÓTESIS DE TRABAJO.

Con las siguientes hipótesis se pretende estudiar las situaciones más desfavorables a las que se puede enfrentar el prototipo.

Para ello se debe activar el módulo de trabajo "Loads", en él se aplicarán las distintas cargas a las que se someterá al conjunto de ensayo así como las distintas restricciones de movimiento.

Antes de explicar de forma exhaustiva cada una de las hipótesis se va a exponer los ejes principales de trabajo de esta forma se facilitará la comprensión.

Se trabaja con un sistema de ejes coordenados general y otro local, el primero de ellos va referido a todo el conjunto de análisis mientras que el segundo de los sistemas cartesianos es local, se usará para la aplicación de las cargas en la pipa de dirección.

Para el conjunto, un eje (eje X) en la dirección transversal, otro (eje Y) en la dirección longitudinal y un tercero (eje Z) en la dirección vertical. El prototipo está en la posición de marcha (*figura 16*).

Para aplicar las cargas en la pipa de dirección se usa el sistema de coordenadas local. El primero de los ejes (eje X') sigue la dirección de avance de la motocicleta, el segundo eje (eje Y') sigue la dirección de la generatriz de la pipa de dirección y el tercero (eje Z') es normal al plano formado por los ejes anteriores (*figura 16*).

De esta forma se estudiarán las siguientes situaciones en las que se pondrá a prueba el diseño propuesto por el equipo MotostudentZGZ-Unizar.

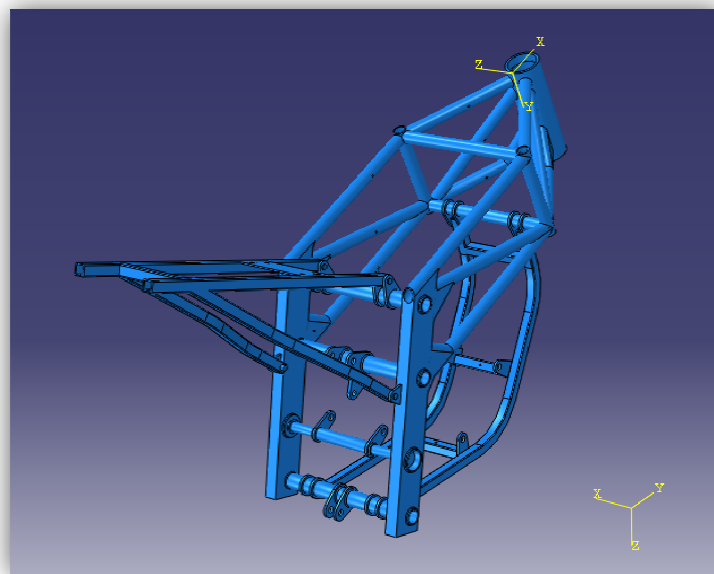


FIGURA 16

### 6.3.1 HIPÓTESIS 1, FRENADA MÁXIMA.

En esta primera hipótesis se estudia el caso de frenada máxima. En dicho caso se encuentra el prototipo realizando la frenada con la rueda delantera en su totalidad, produciéndose una transferencia de masa hacia dicha rueda, la rueda trasera se encuentra en una situación tal que su normal es nula haciendo que el sistema de suspensión se encuentre en extensión. La deceleración que sufre el prototipo en dicha frenada es próxima a  $9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$  ( $1g$ ).

Las restricciones de movimiento se encuentran únicamente en el eje basculante, al cual se le impiden los desplazamientos en su totalidad, dado el tipo de elemento utilizado para el análisis, que en el apartado correspondiente será explicado, no es posible restringir los giros.

Las cargas aplicadas se encuentran en los puntos de unión con el tren delantero y trasero. En la pipa de dirección se aplican las cargas de la frenada provenientes del contacto del neumático con el suelo así como de la transferencia de masa. Por otro lado las cargas derivadas del tren trasero son las producidas por la extensión del sistema de suspensión (*figura 17*).

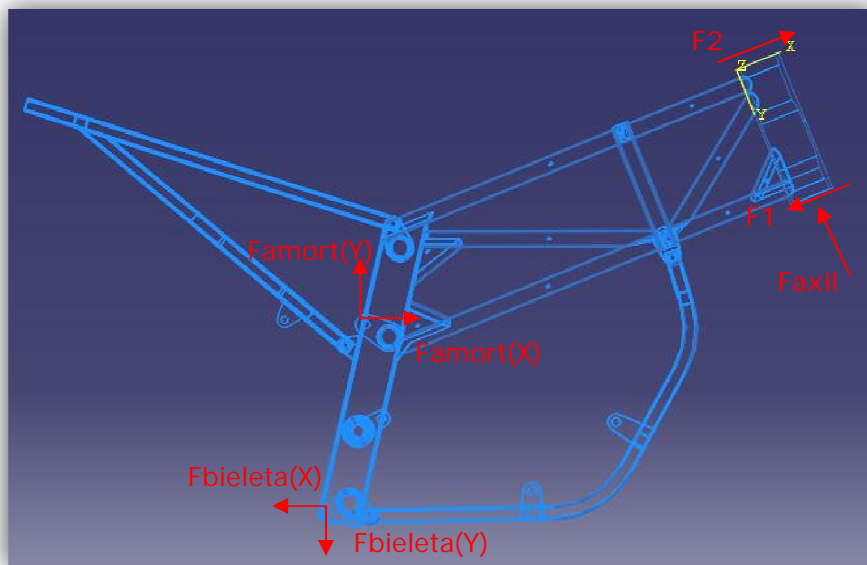


FIGURA 17

CARGA	VALOR
Faxil	5500[N]
F1	5300[N]
F2	1500[N]
Famort(x)	170[N]
Famort(y)	350[N]
Fbieleta(x)	400[N]
Fbieleta(y)	80[N]

TABLA 1

Para evitar la aparición de los concentradores de tensiones al aplicar cargas puntuales sobre el conjunto se ha preferido repartir dichas fuerzas sobre las diferentes superficies que se ven afectadas, de esta forma se disminuye el efecto y se obtienen unos resultados más acordes a la realidad.

Esto ocurrirá tanto en las tapas de la pipa de dirección como en las orejetas de anclaje del amortiguador y de las bieletas.

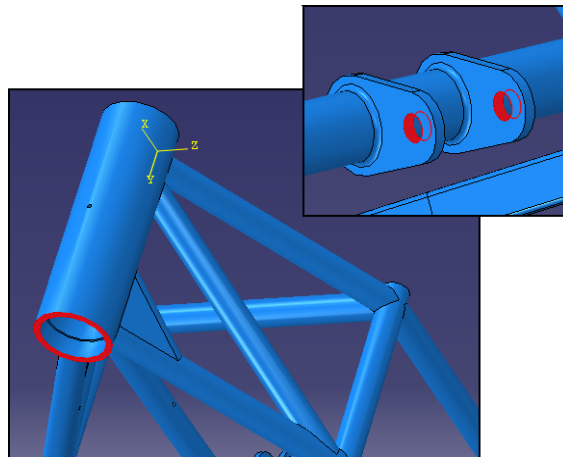


FIGURA 18

### 6.3.2 HIPÓTESIS 2, SALIDA DE CURVA.

En la segunda de las hipótesis se trabaja en otra de las situaciones comprometidas a la que podemos someter al prototipo, la salida de una curva. En dicha situación la motocicleta se encuentra inclinada, debido a la curva, a su vez se aplica una aceleración.

Por lo tanto para el caso se trabaja con una aceleración aproximada a  $4,905 \text{ [m/s}^2\text{]}$  ( $0,5g$ ) y el prototipo se encuentra inclinado  $27^\circ$  sobre su eje longitudinal.

Al igual que en la primera hipótesis la única restricción se encuentra en el eje basculante y nuevamente se le impide el movimiento en los tres ejes.

Las cargas aplicadas en esta hipótesis están localizadas en los mismos puntos que en la hipótesis anterior pero esta vez aparte de tener valores y sentidos distintos aparece un momento que torsiona el chasis aplicado en el eje  $X'$  de la pipa de dirección y un momento que tiende a flexionar en el eje  $Y'$  también de los ejes de la pipa. Más adelante se explicará cómo han sido aplicados dichos momentos para la ejecución del análisis (figura 19).

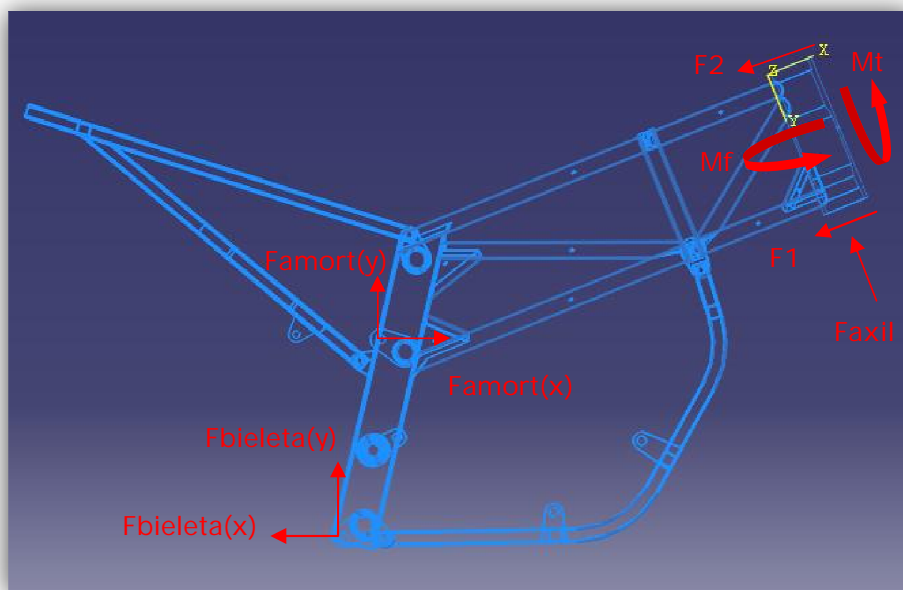


FIGURA 19

CARGA	VALOR
Faxil	300[N]
F1	400[N]
F2	150[N]
Famort(x)	550[N]
Famort(y)	1100[N]
Fbieleta(x)	1500[N]
Fbieleta(y)	600[N]
Mtorsk	1800[Nmm]
Mflector	21700[Nmm]

TABLA 2

Al igual que en el caso anterior para evitar la aparición de concentradores de tensiones se distribuyen las fuerzas puntuales sobre las superficies en las que están aplicadas.

Como se verá en el apartado de mallado los elementos a utilizar son elementos 3D. El problema que presentan dichos elementos es que no es posible la aplicación de un momento como tal. Por lo tanto, los momentos serán aplicados como pares de fuerzas.

A partir de este punto hay que diferenciar los dos momentos que se han de aplicar, el momento torsk y el momento flector, ya que la forma de introducirlos en el modelo se realizará de forma distinta para cada uno de ellos.

A la hora de aplicar el momento torsk como pares de fuerzas se entiende que este momento está aplicado en la distancia media de la longitud total de la pipa de dirección. Teniendo en cuenta dicha distancia, los pares de fuerzas se aplican en la superficie de las tapas de la pipa, su dirección es la del eje Z'. Para simular el momento torsk, el cual tiene sentido negativo sobre el eje X', la fuerza aplicada en la tapa superior de la pipa debe llevar sentido Z' positivo mientras que en la aplicada en la tapa inferior sentido negativo (figura 20).

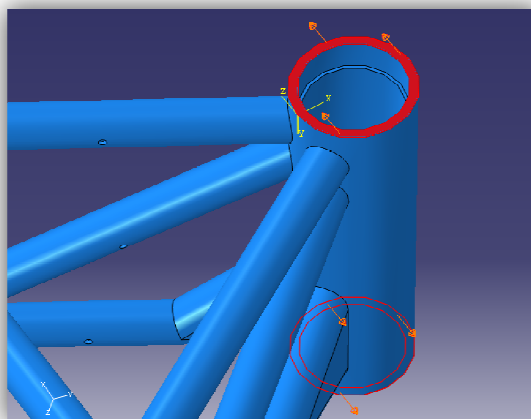


FIGURA 20



Respecto a la aplicación del momento flector en primer lugar se deben seleccionar los nodos en los que queremos distribuir los pares de fuerzas equivalentes a dicho momento. Para ello en el módulo de ensamblaje en la opción de "set's" elegiremos los diferentes nodos. Se trabaja por pares de nodos siendo iguales entre si las fuerzas aplicadas en la tapa superior y en la inferior (*figura 21*).

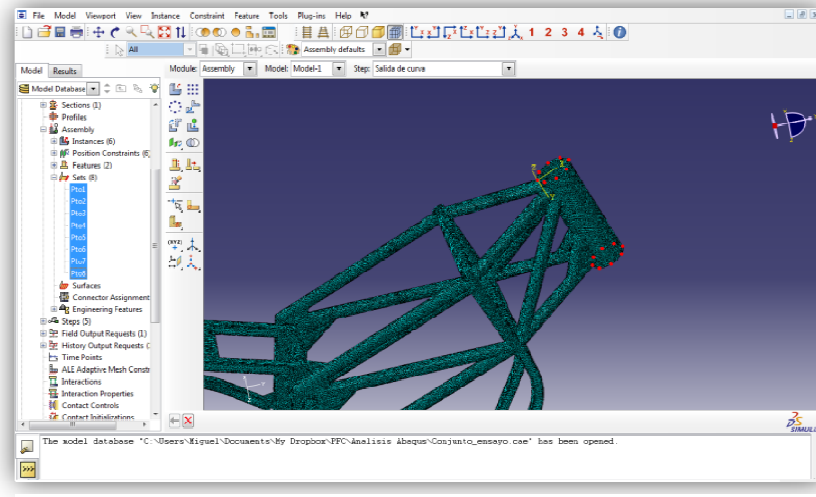


FIGURA 21

En este caso se toma como punto de aplicación del momento flector el centro de la circunferencia del cilindro que forma la pipa de dirección. Dado que los nodos seleccionados se encuentran en la circunferencia exterior que describe la pipa, la distancia a dicho centro se tendrá en cuenta a la hora de introducir los pares de fuerzas equivalentes al momento flector.

Así pues, la distribución de los pares de fuerzas quedan del siguiente modo, siendo las direcciones y sentidos que se ven en la imagen (*figura 22*).

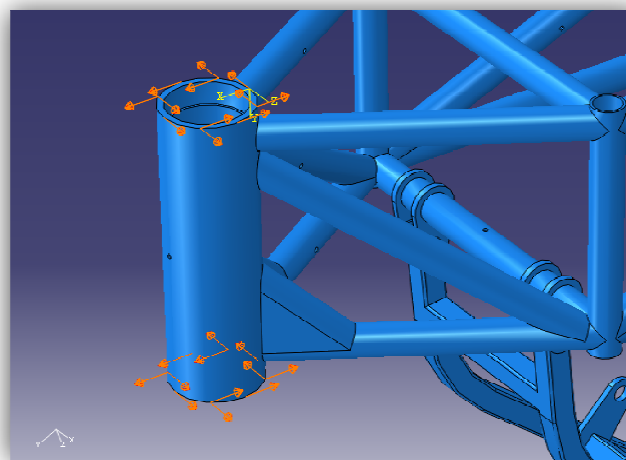


FIGURA 22

### 6.3.3 HIPÓTESIS 3, PASO POR CURVA CON IMPACTO DE PIANO.

En esta última hipótesis se tratar de simular el paso por curva del prototipo añadiendo el impacto con el piano, se trata de llevar al modelo a una de las situaciones más extremas a las que va a ver sometido el prototipo en el circuito.

En este caso la inclinación de la motocicleta es de  $58^\circ$  sobre el eje vertical añadiéndole a los cálculos un factor de valor 1,5 como coeficiente de impacto del neumático con el borde del piano.

Como en las hipótesis anteriores la única restricción de movimiento se encuentra en el eje basculante y del mismo modo que los otros casos se restringen sus movimientos en los tres ejes.

Las cargas aplicadas para este caso se sitúan en los mismos puntos que en la hipótesis dos (*figura 23*).

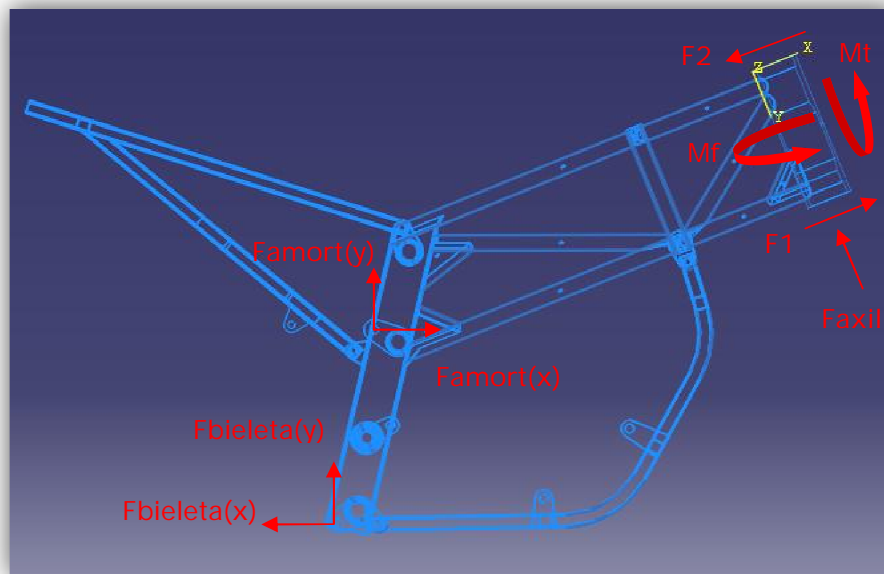


FIGURA 23

CARGA	VALOR
Faxil	1000[N]
F1	1600[N]
F2	1200[N]
Famort(x)	1000[N]
Famort(y)	2000[N]
Fbieleta(x)	3500[N]
Fbieleta(y)	1700[N]
Mtursor	10400[Nmm]
Mflector	11500[Nmm]

TABLA 3

Al igual que en los dos casos anteriores se ha de tener en cuenta la aplicación de las cargas puntuales sobre la superficie evitando la aparición de concentradores de tensiones.

Así mismo, a la hora de introducir los momentos torsor y flector se seguirá el mismo procedimiento llevado a cabo en la segunda hipótesis. Introduciendo dichos momentos como pares de fuerzas distribuidas por las tapas de la pipa de dirección.

## 6.4. RESULTADOS.

Para la obtención de los resultados en el módulo "Jobs" se crea un archivo de trabajo y se procede a la resolución de las hipótesis de trabajo. El tiempo de cálculo y por tanto de la obtención de los resultados depende de la densidad de malla, la complejidad del conjunto a analizar, etc... (figura 24)

A continuación se va a exponer los resultados obtenidos para las tres hipótesis planteadas para el modelo. Para ello se dispone a trabajar en el módulo "Visualization".

Los principales resultados que interesan analizar son los desplazamientos máximos, los desplazamientos en los ejes principales ( $u_1$ ,  $u_2$ ,  $u_3$ ) así como las tensiones que se producen y la localización de los mismos.

Recordar en este punto que para la fabricación del prototipo se utilizó acero estructural S235 y S355.

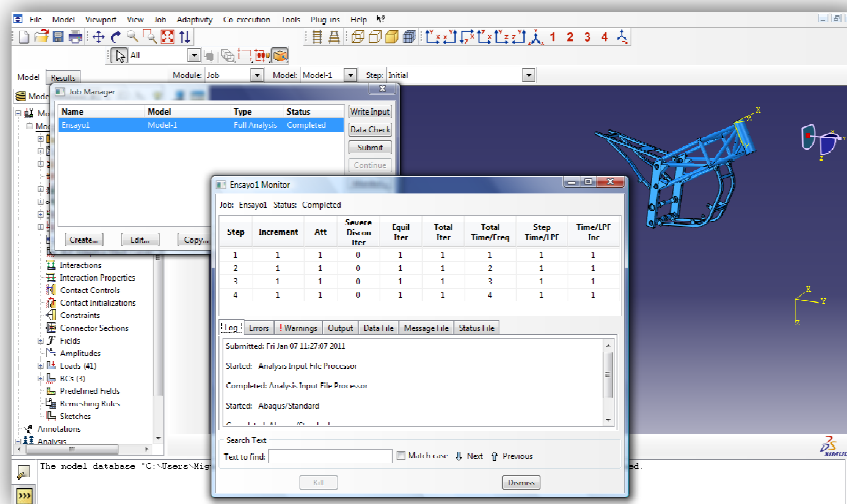


FIGURA 24

### 6.4.1 HIPÓTESIS 1, FRENADA MÁXIMA.

#### TENSIÓN DE VON MISES:

Se encuentra localizada en la triangulación inferior de los travesaños unidos a la pipa de dirección.

$$\sigma_{max} = 77,46[MPa]$$

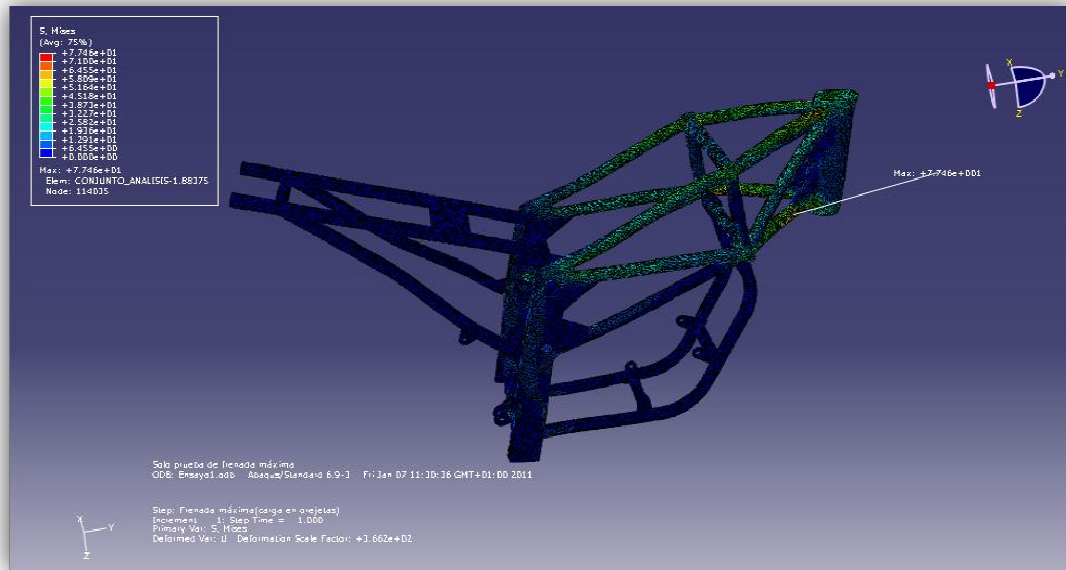


FIGURA 25

#### DESPLAZAMIENTOS:

El máximo se localiza en la parte superior de la pipa de dirección.

$$Desplaz_{max} = 0,2961[mm]$$

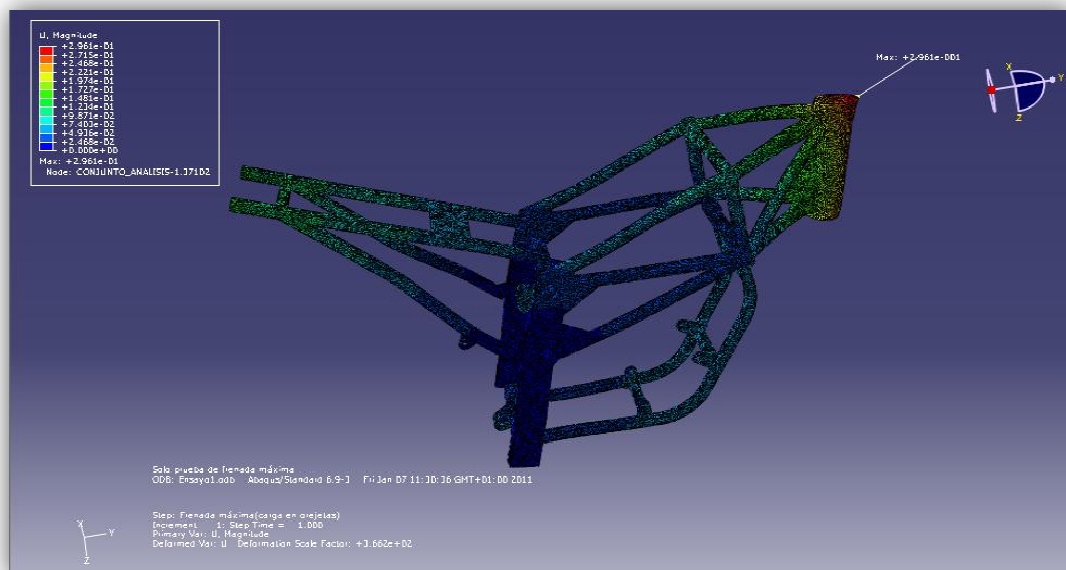


FIGURA 26

### DESPLAZAMIENTOS EN EL EJE U1 (EJE X):

Se encuentran localizados en los travesaños centrales y en la parte inferior de la cuna.

$$\text{Desplaz. positivo}_{\max} = 0,02296[\text{mm}] \quad \text{Desplaz. negativo}_{\max} = 0,02295[\text{mm}]$$

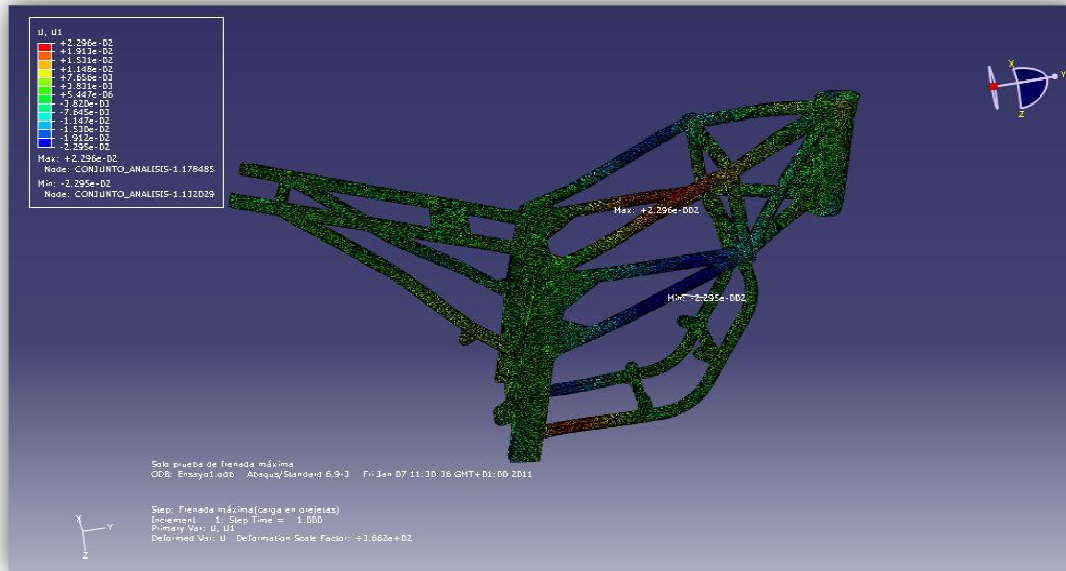


FIGURA 27

### DESPLAZAMIENTOS EN EL EJE U2 (EJE Y):

El positivo de ellos se encuentra en la parte superior de la pipa mientras que el desplazamiento negativo se localiza en las orejetas de sujeción de las bieletas.

$$\text{Desplaz. positivo}_{\max} = 0,02507[\text{mm}] \quad \text{Desplaz. negativo}_{\max} = 0,056[\text{mm}]$$

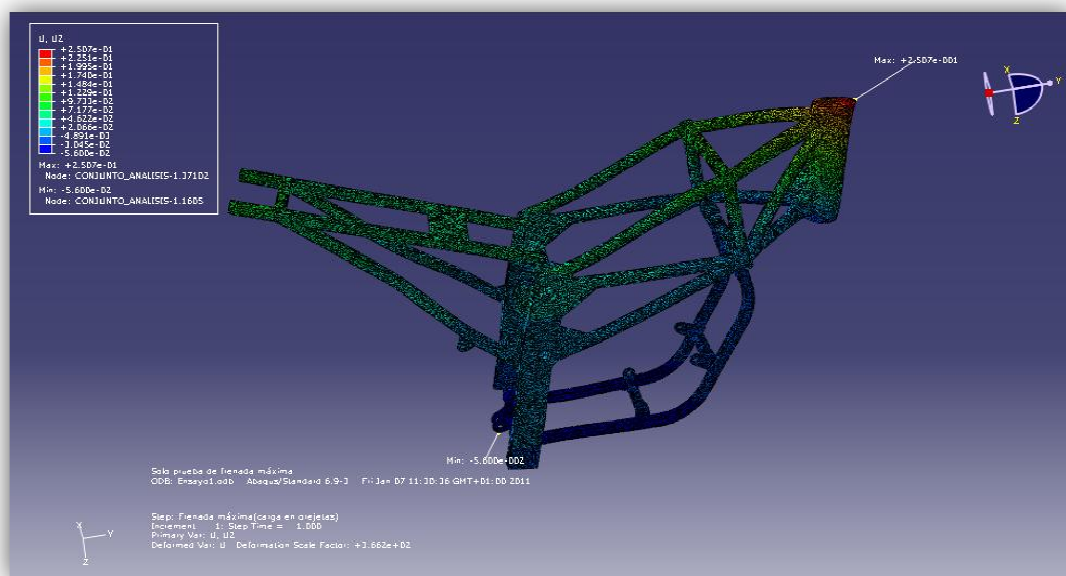


FIGURA 28

### DESPLAZAMIENTOS EN EL EJE U3 (EJE Z):

El desplazamiento positivo se sitúa en el extremo del sub-chasis mientras que el negativo se encuentra en la parte inferior de la pipa de dirección.

$$\text{Desplaz. positivo}_{\max} = 0,2698[\text{mm}] \quad \text{Desplaz. negativo}_{\max} = 0,1032[\text{mm}]$$

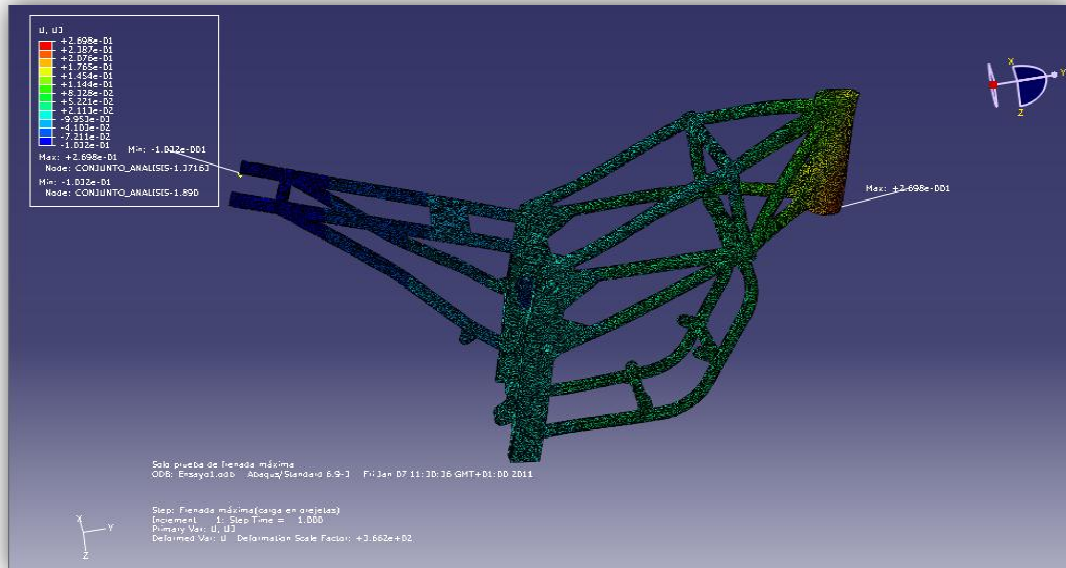


FIGURA 29



## 6.4.2 HIPÓTESIS 2, SALIDA DE CURVA.

### TENSIONES DE VON MISES:

Se encuentra localizada en la unión de las orejetas de unión con las bieletas con el travesaño horizontal inferior.

$$\sigma_{max} = 119,1[MPa]$$

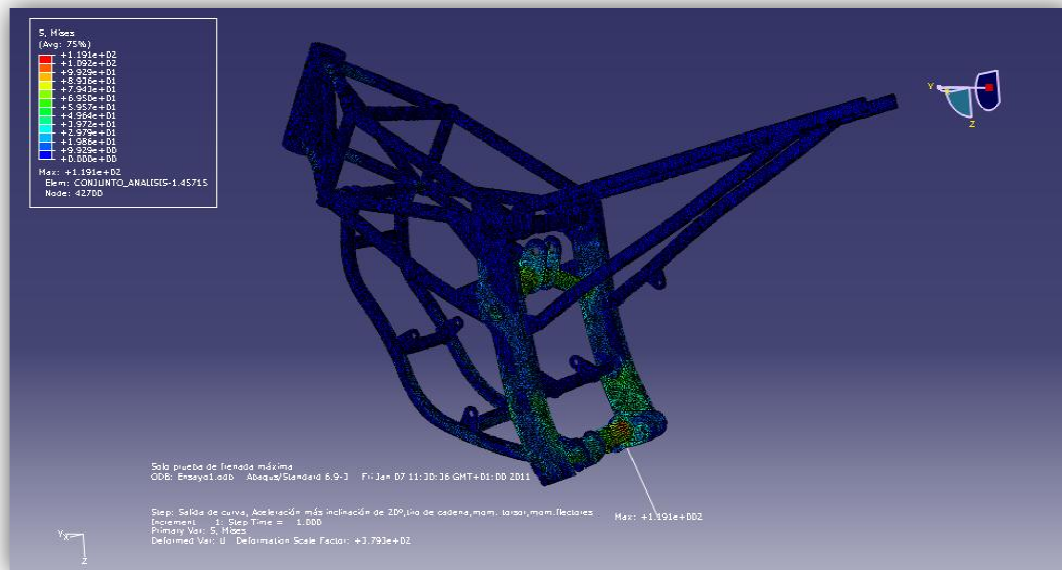


FIGURA 30

### DESPLAZAMIENTOS:

Al igual que la tensión máxima, el mayor desplazamiento se encuentra en las orejetas de unión con las bieletas, en su extremo.

$$Desplaz_{max} = 0,2934[mm]$$

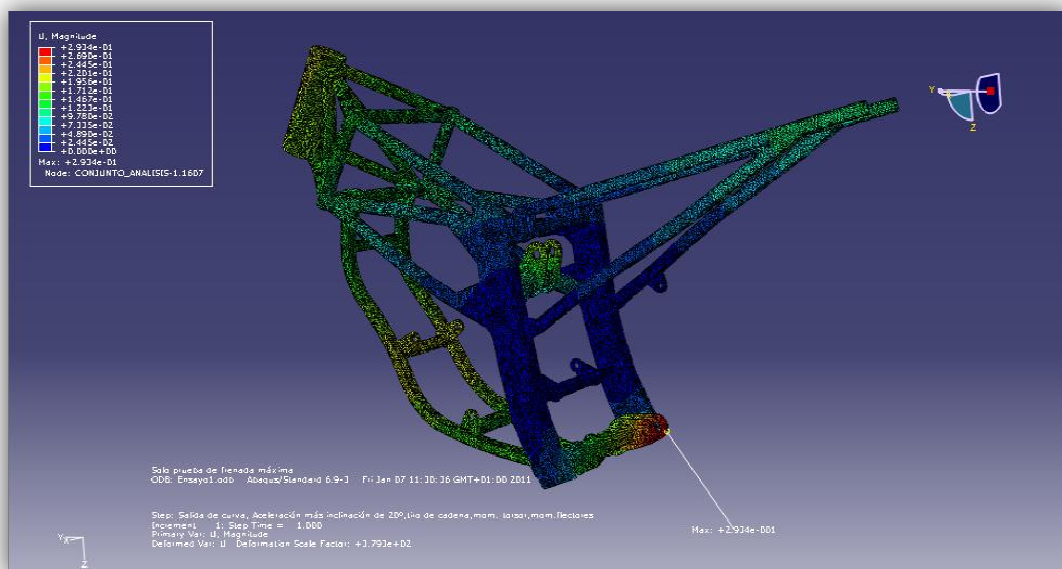


FIGURA 31



### DESPLAZAMIENTOS EN EL EJE U1 (EJE X):

Se encuentran en la cuna, en la parte inferior, en la unión cuna-chasis.

$$\text{Desplaz. positivo}_{\max} = 0,0898[\text{mm}] \quad \text{Desplaz. negativo}_{\max} = 0,09184[\text{mm}]$$

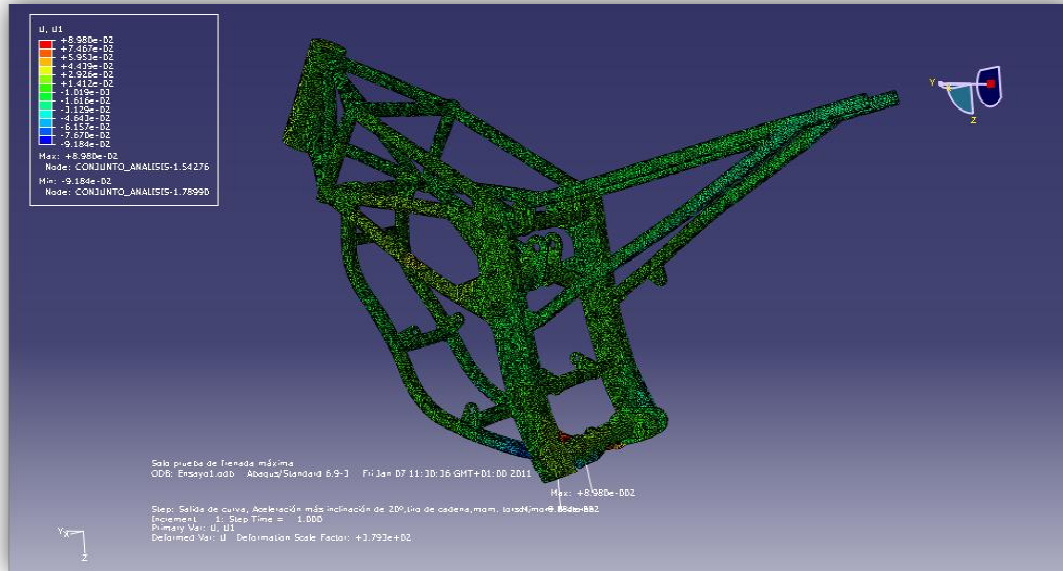


FIGURA 32

### DESPLAZAMIENTOS EN EL EJE U2 (EJE Y):

Situados en las orejetas del sistema de suspensión del lado derecho.

$$\text{Desplaz. positivo}_{\max} = 0,1083[\text{mm}] \quad \text{Desplaz. negativo}_{\max} = 0,2605[\text{mm}]$$

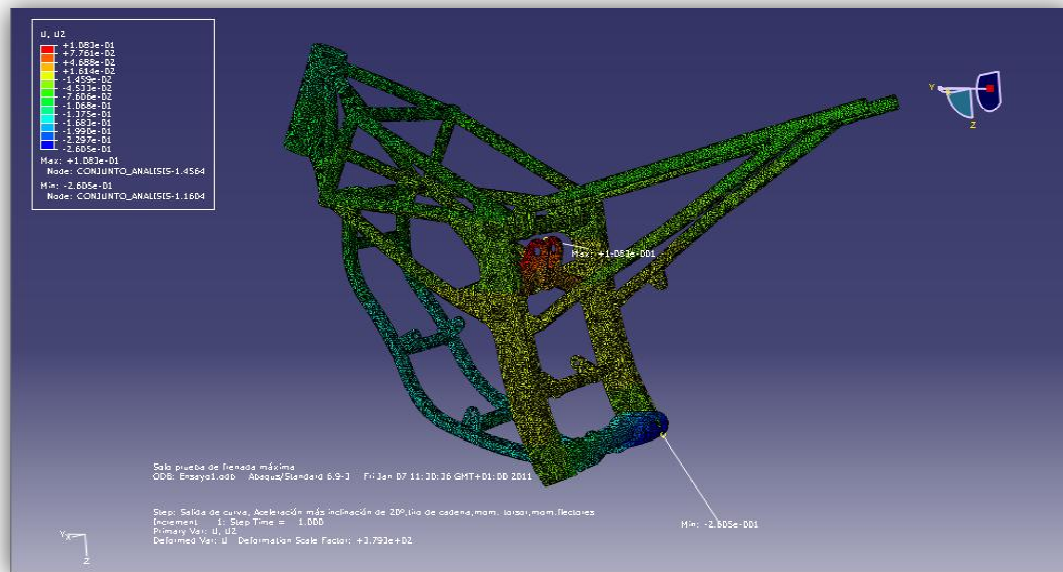


FIGURA 33

### DESPLAZAMIENTOS EN EL EJE U3 (EJE Z):

Localizados en las orejetas derecha del amortiguador el desplazamiento positivo mientras que el negativo se encuentra en el extremo del sub-chasis.

$$\text{Desplaz. positivo}_{\max} = 0,2698[\text{mm}] \quad \text{Desplaz. negativo}_{\max} = 0,1032[\text{mm}]$$

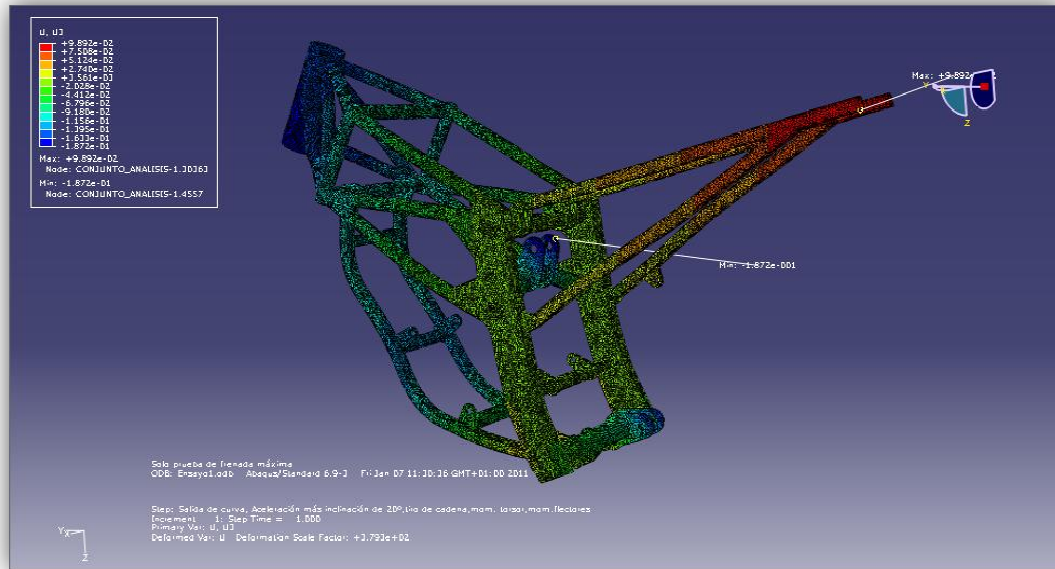


FIGURA 34

### 6.4.3 HIPÓTESIS 3, PASO POR CURVA CON IMPACTO DE PIANO.

#### TENSIONES DE VON MISES:

Se encuentra localizada en la unión atornillada inferior cuna-chasis.

$$\sigma_{max} = 319,8[MPa]$$

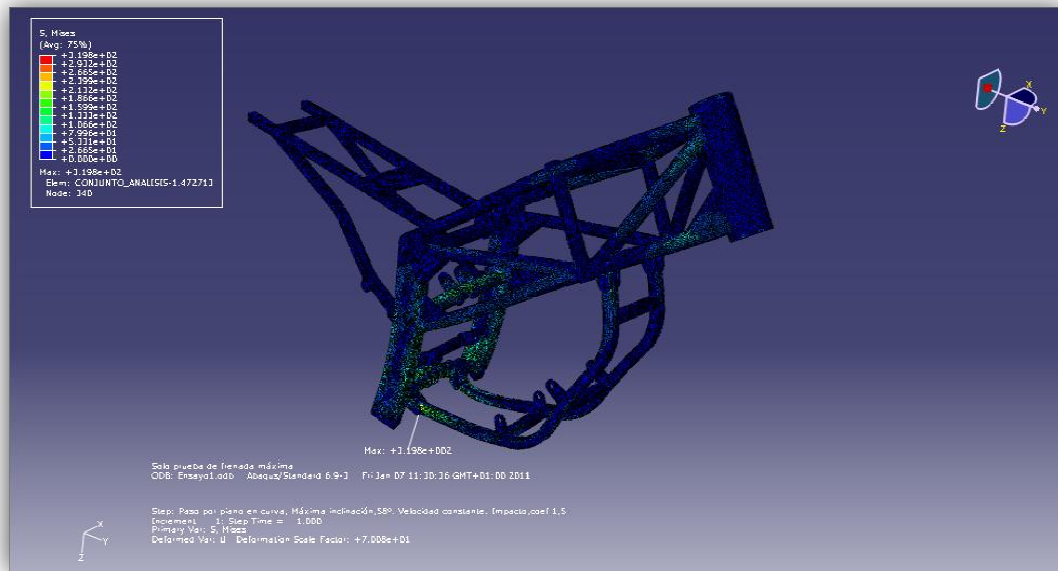


FIGURA 35

#### DESPLAZAMIENTOS:

Situado en la tapa superior de la pipa de dirección.

$$Desplaz_{max} = 1,574[mm]$$

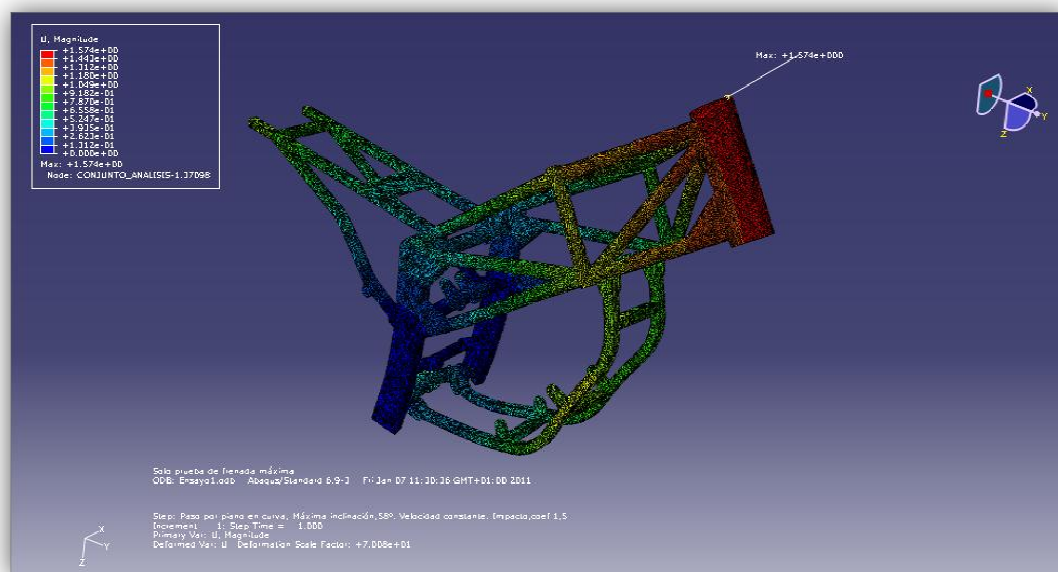


FIGURA 36

### DESPLAZAMIENTOS EN EL EJE U1 (EJE X):

El desplazamiento positivo se localiza en la tapa superior de la pipa de dirección. Por otro lado, el desplazamiento negativo se sitúa en la cuna, entre los dos soportes motor.

$$\text{Desplaz. positivo}_{\max} = 0,3711[\text{mm}] \quad \text{Desplaz. negativo}_{\max} = 0,2570[\text{mm}]$$

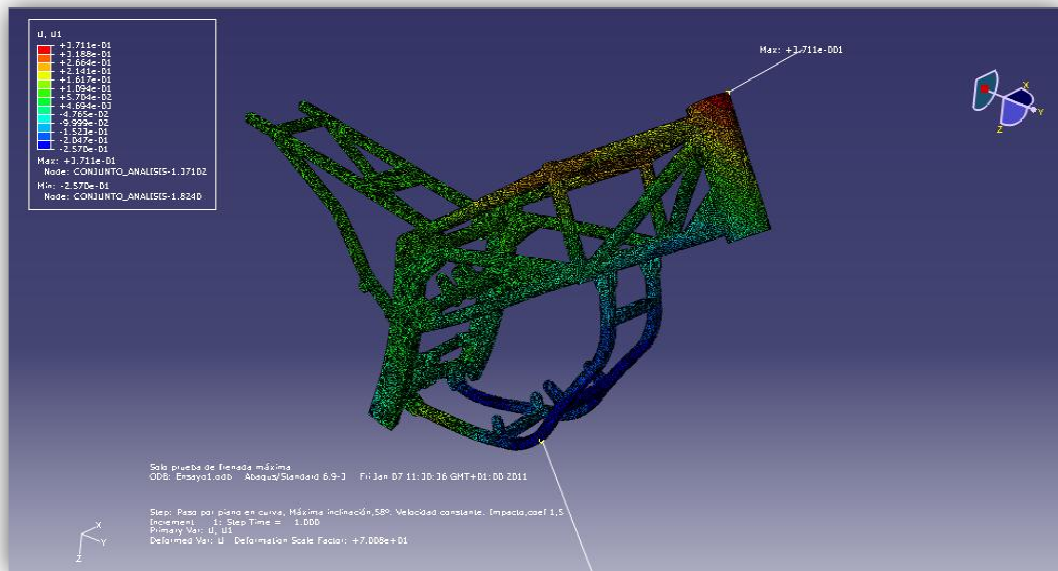


FIGURA 37

### DESPLAZAMIENTOS EN EL EJE U2 (EJE Y):

El desplazamiento positivo se localiza en la orejeta del amortiguador mientras que el desplazamiento negativo se encuentra en la tapa superior de la pipa de dirección.

$$\text{Desplaz. positivo}_{\max} = 0,07594[\text{mm}] \quad \text{Desplaz. negativo}_{\max} = 0,9585[\text{mm}]$$

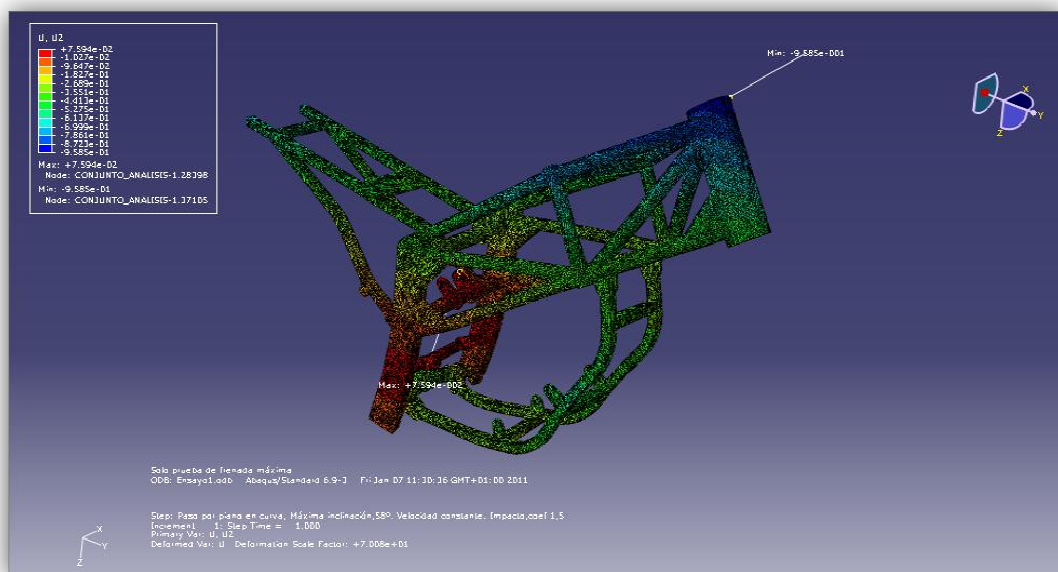


FIGURA 38

### DESPLAZAMIENTOS EN EL EJE U3 (EJE Z):

En el extremo del sub-chasis se localiza el desplazamiento positivo. En la tapa inferior de la pipa de dirección se sitúa el desplazamiento negativo.

$$\text{Desplaz. positivo}_{\max} = 0,8236[\text{mm}] \quad \text{Desplaz. negativo}_{\max} = 1,41[\text{mm}]$$

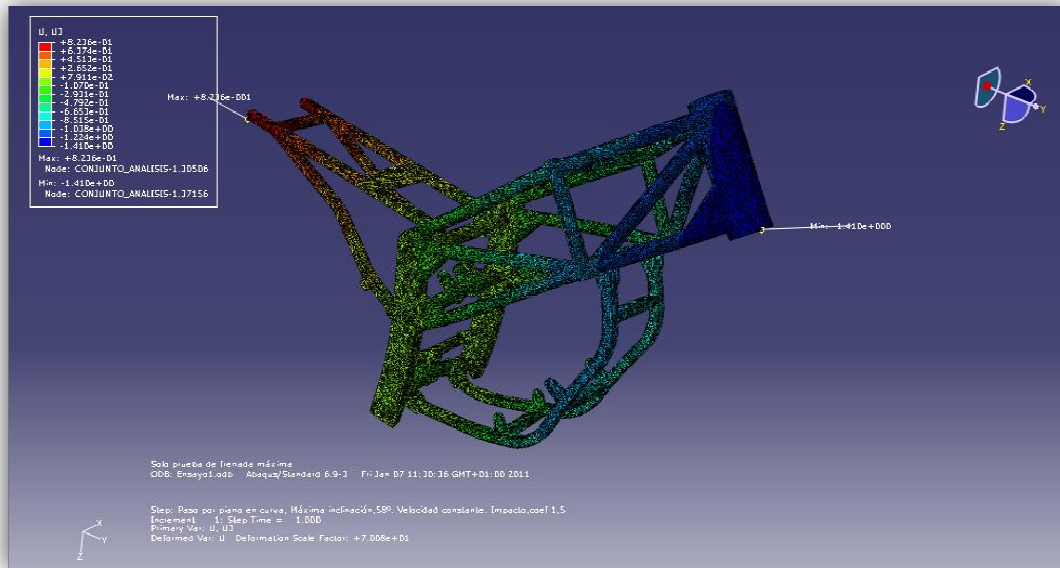


FIGURA 39



## 7. CONCLUSIONES.

A la vista de los resultados mostrados en la sección anterior se pueden establecer las siguientes conclusiones.

En el caso más desfavorable, la tensión máxima obtenida es próxima a la tensión máxima admisible del material usado, pero sin superarla en ningún momento. Se encuentra situada en la unión atornillada inferior de la cuna con el chasis. La representación de dicha unión no se ajusta fiel a la realidad. Tal y como se introdujo el conjunto, se trata de una unión rígida. Realmente la tensión se transmitirá de la viga de la cuna, al pasador y de este a la orejeta del chasis. Seguramente se siga tratando de uno de los puntos con mayor concentración de tensiones pero su valor será inferior al obtenido. De esta forma, el análisis ha puesto de manifiesto que esta unión ha de ser inspeccionada con regularidad para vigilar la posible aparición de grietas.

Del mismo modo, el travesaño donde apoya esta unión atornillada (viga de acero S355) también se encuentra trabajando en valores próximos al límite del material. De nuevo esta unión se tendrá que tener vigilada ya que en dicho travesaño apoya parte del sistema de la suspensión pudiéndose producirse un fallo en dicha viga. (figura 40).

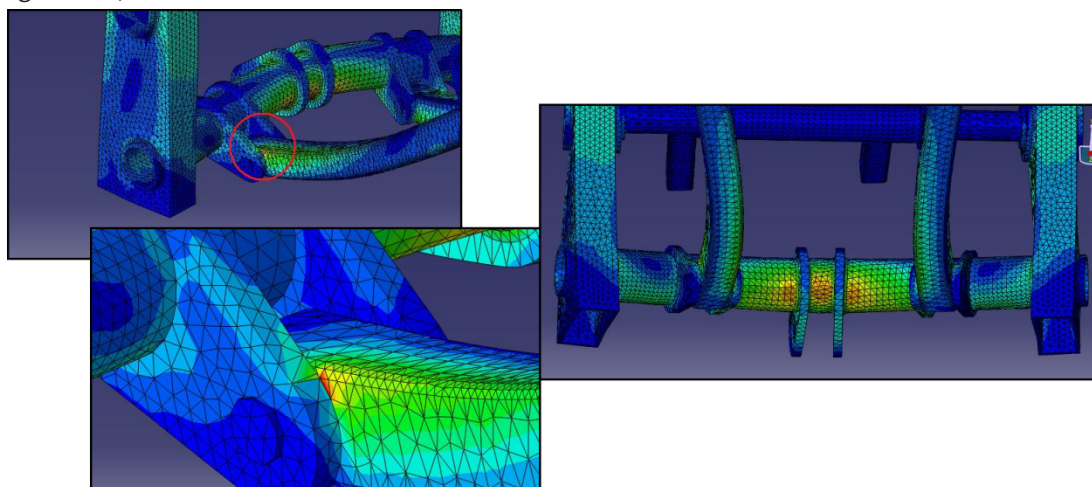


FIGURA 40

El resto de los puntos críticos se localizan también en la pipa de dirección para algunas de las hipótesis. Se tendrá que tener también vigilada dicha zona ya que en ella se localizan las pistas de apoyo de los rodamientos que sustentan todo el sistema de dirección y suspensión del tren delantero. Pudiendo producirse que dichos rodamientos no trabajen como es deseado desde un punto de vista dinámico (figura 41).

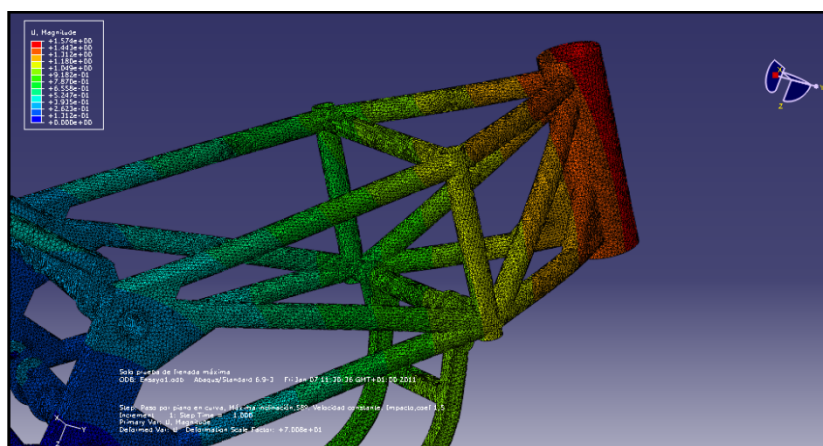


FIGURA 41

Hay que tener en cuenta que en el análisis realizado en el presente proyecto no han sido introducidos elementos como el bloque motor que aportan rigidez a todo el conjunto de la motocicleta. Lo que hace pensar que el valor de las tensiones serán menores y la distribución de las mismas serán de forma más uniforme.

Apuntar que aún tienen cabida mejoras en el presente prototipo, observando la distribución de las tensiones podemos localizar puntos en los que se podría optimizar el material, véase como ejemplo las cartelas de refuerzo. Pero hay que tener presente que se trataba de un proyecto real en el que había que atender también a la realidad económica.

Dada la naturaleza del proyecto se cuenta con los resultados y la validación del prototipo durante las jornadas en el circuito de Motorland. En dichas jornadas el prototipo fue sometido a pruebas estáticas y dinámicas verificando que era capaz de soportar los esfuerzos a los que iba a estar sometido en las tandas cronometradas.

La conclusión que se pueden sacar de dichas jornadas es que el prototipo es capaz de soportar sesiones de trabajo en circuito intensas de forma muy satisfactoria.



FIGURA 42

Desde el punto de vista académico, el presente proyecto ha permitido trabajar con un software de análisis del cual no se tenían conocimientos de antemano, permitiendo profundizar en un ámbito (simulación computacional) que el alumno que presenta este proyecto no trabajó de forma tan completa a lo largo del desarrollo de su titulación.



## 8. BIBLIOGRAFÍA.

- Hibbit; Karlsson & Sorensen, I.  
Abaqus user's guide, v6.5  
HKS inc. Pawtucket, RI, USA., 2006
- <http://www.eng-tips.com>
- <http://www.perfilesaragon.com>
- [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)



